

Janne Wickström

# Patteriverkoston perussäätö ja jälkiseurantamittaukset

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

5.5.2018

Tekijä Otsikko	Janne Wickström Patteriverkoston perussäätö ja jälkiseurantamittaukset
Sivumäärä Aika	30 sivua + 2 liitettä 5.5.2018
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-suunnittelu
Ohjaajat	diplomi-insinööri Visa Kukkonen yliopettaja Jukka Yrjölä
<p>Työn keskeisimpänä tavoitteena oli syventyä olemassa olevien asuinkerrostalojen perussäätösuunnittelussa ja säätötyössä käytettäviin menetelmiin. Tarkoituksena oli myös selvittää perussäädön vaikutusta rakennuksen energiankulutukseen.</p> <p>Aiheeseen tutustuttiin lähinnä eri kirjallisuuslähteiden avulla ja omakohtaisin laskelmin. Osa käsitellyistä asioista perustuu myös omassa työssä opittuihin asioihin ja hyväksi havaittuihin menetelmiin. Työ tehtiin yhteistyössä Helsingin Laskentasäätö Oy:n kanssa, joka on vesikiertoisten lämmitysjärjestelmien saneeraussuunnitteluun erikoistunut insinööritoimisto.</p> <p>Työssä käsitellään tekijöitä, jotka tulisi ottaa huomioon tasapainotuslaskennassa ja perussäädön toteutusvaiheessa, jotta päästäisiin mahdollisimman tarkkaan lopputulokseen säädön suhteen. Lisäksi työssä pohditaan, mitä hyötyjä perussäädön jälkeisten sisälämpötilamittausten avulla voidaan saavuttaa, sekä käydään läpi eri sisälämpötilojen jälkiseurantamenetelmiä. Lopuksi selvitetään myös perussäädön vaikutusta energiankulutukseen tarkastelemalla perussäätökohteissa toteutuneita kulutuksia.</p> <p>Työssä laskettiin kohteissa toteutunut säästö tilojen lämmitysenergiassa. Sääkorjattu lämpöenergian säästö oli keskimäärin 3,52 %.</p>	
Avainsanat	lämmitys, patteriverkosto, perussäätö, tasapainotus

Author Title	Janne Wickström Balancing radiator heating systems and follow-up measurements
Number of Pages Date	30 pages + 2 appendices 5 May 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Design Orientation
Instructors	Visa Kukkonen, Master of Sciences Jukka Yrjölä, Principal lecturer
<p>The purpose of this final year project was to present the methods used in balancing a water circulated radiator heating system. One of the additional purposes was to examine what kind of impacts the balancing of the radiator system has on the energy consumption.</p> <p>The thesis was mainly based on a study of different literary sources that deal with the balancing of radiator systems. Sources such as building regulations and manuals from manufacturers were also used. Some of the issues discussed were also based on personal experience.</p> <p>The thesis presented factors that should be taken into consideration during the planning stage and implementation in order to achieve the best possible outcome. Benefits of room temperature measurements in connection with balancing of the radiator system were also discussed. To examine the effects on the energy consumption, studies on realized consumptions were made. The result was that the energy consumption decreased by an average of 3,52 % when radiator systems were balanced.</p> <p>The thesis serves as a reminder of the importance of balancing a radiator system.</p>	
Keywords	heating, radiator, balancing

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Patteriverkoston perussäätö	2
3	Tasapainotuslaskenta	4
3.1	Lämmitystehontarpeen laskenta	4
3.2	Patterin lämmönluovutus	6
3.3	Menoveden jäähtymä	9
3.4	Putkiston painehäviöt	9
3.5	Vapaakierto	10
3.6	Säätöarvojen määrittäminen	11
4	Tasapainotuslaskenta Jaconilla	13
4.1	Huonetyyppien määrittäminen	14
4.2	Verkoston mallintaminen	14
4.3	Tasapainotilanteen simulointi	15
5	Tasapainotusmittaukset	16
5.1	Virtausmittausmenetelmä	16
5.2	Paine-eromenetelmä	17
6	Menovesikäyrä	18
7	Jälkiseurantamittaukset	19
7.1	Sisälämpötilamittausten suorittaminen	19
7.2	Sisälämpötilamittaukset asukaskyselyn perusteella	22
7.3	Sisälämpötilamittaukset termostaatit irrotettuina	23
7.4	Tallentavat sisälämpötilamittaukset	23
8	Energiansäästöpotentiaali	24
8.1	Kulutuksen normitus kulutusseurannassa	25
8.2	Perussäätökohteiden kulutusvertailu	26
8.3	Kulutusvertailun johtopäätökset	26
9	Yhteenveto	27

Liitteet

Liite 1. Perussäätökohteiden kulutusvertailu

Liite 2. Esimerkkilaskelma: Soukankaari 4

## 1 Johdanto

Vesikiertoinen patterilämmitys on Suomessa yleisimmin käytetty rakennusten lämmitystapa. Patteriverkoston perussäädön tavoitteena on saada lämmitysverkosto toimimaan mahdollisimman energiataloudellisesti niin, että huonelämpötilat pysyvät suunnitellulla tasolla koko lämmityskauden ajan. Hyvin toimiessaan vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä on huomaamaton osa talotekniikkaa, eikä siitä aiheudu häiritseviä virtausääniä.

Oikein säädetyllä lämmitysverkostolla on merkittävä rooli rakennuksen energiatalouden kannalta. Se, miten paljon energiasäästöä perussäädöllä voidaan saavuttaa, riippuu kuitenkin pitkälti kiinteistön lämmitysolosuhteiden lähtötilanteesta. Lähtötilanteesta riippuen voidaan hyvin tehdyllä perussäädöllä päästä jopa 10–15 % säästöihin energiankulutuksessa. On todettu, että huonelämpötilojen pudottaminen yhdellä asteella johtaa noin 5 %:n säästöön lämmityskustannuksissa. Mikäli kiinteistön lämpötiloja ei kuitenkaan saada pudotettua, ei myöskään energiasäästöä synny. [9]

Patteriverkoston perussäätösuunnittelussa ja tasapainotuksessa on käytössä eri menetelmiä ja toimintatapoja, joissa kaikissa on omat hyvät ja huonot puolensa. Hyvällä suunnittelulla päästään usein lopputulokseen, jossa verkoston toimintaan ei tarvitse tehdä suurempia muutoksia perussäädön jälkeen. Kuitenkin pelkällä suunnittelulla harvemmin päästään täysin optimaaliseen lopputulokseen, vaan useimmiten osoittautuu tarpeelliseksi tehdä pieniä muutoksia venttiilien säätöarvoihin sekä menoveden säätökäyrään vielä perussäädön jälkeen. Jälkiseurannassa hyödynnetään usein sisälämpötilamittauksia oikeiden säätöjen löytämiseksi.

Työn keskeisimpänä tavoitteena on perehtyä olemassa olevien asuinkerrostalojen perussäätöön ja suunnittelussa käytettäviin menetelmiin. Perehdytään mm. siihen, mitä kaikkia tekijöitä tulisi huomioida tasapainotuslaskennassa, jotta päästäisiin mahdollisimman tarkkaan lopputulokseen säädön suhteen. Lisäksi pohditaan, mitä hyötyjä perussäädön jälkeisten sisälämpötilamittausten avulla voidaan saavuttaa, sekä käydään läpi eri sisälämpötilojen jälkiseurantamenetelmiä. Työ tehdään yhteistyössä Helsingin Laskentäsäätö Oy:n kanssa, joka on lämmitysjärjestelmien saneeraussuunnitteluun erikoistunut insinööritoimisto.

## 2 Patteriverkoston perussäätö

Perussäädössä on kyse siitä, että patteriverkoston vesivirrat suunnitellaan ja säädetään siten, että rakennuksen kaikkiin huonetiloihin saadaan tavoitellut tasaiset lämpötilat. Perussäädön yhteydessä on myös tärkeää huomioida, miten saada minimoitua häiritsevien äänien syntyminen verkostossa. Ääntä aiheuttavat esimerkiksi suuret virtausnopeudet ja suuret paine-erot patteriventtiilien yli. Hyvin säädetty lämmitysverkosto parantaa asumisviihtyvyyttä ja energiaa säästyy epätasapainossa olevaan verkostoon verrattuna.

Hyvänä asuintilojen tavoitelämpötilana voidaan pitää noin 21–22 °C:n lämpötilaa, kun taas esimerkiksi porrashuoneissa ja kellaritiloissa on hyvä tarpeen mukaan tavoitella matalampia lämpötiloja. Säättämättömässä verkostossa virtaamat, ja näin ollen myös lämpötilat, jakautuvat epätasaisesti rakennuksen sisällä. Lähimpänä lämmönjakohuonetta sijaitsevilla pattereilla kiertää liikaa vettä ja kauemmissa taas liian vähän johtuen siitä, että vesi pyrkii aina kulkemaan virtausteknisesti helpointa reittiä. Kuvassa 1 on pyritty havainnollistamaan, miten lämpötilat voivat jakautua säättämättömässä ja säädettyssä verkostossa.



Kuva 1. Lämpötilojen jakautuminen säättämättömässä ja säädettyssä verkostossa

Jotta kiinteistön lämpötilat saataisiin jakautumaan halutulla tavalla, on vesivirtoja säädetävä niin, että patterit luovuttavat oikean määrän lämmitystehoa kuhunkin huonetilaan. Tämä tapahtuu rajoittamalla verkoston vesivirtoja patteriventtiileiden ja linjasäätöventtiileiden avulla. Oikeat kuristukset venttiileille saadaan laskemalla niille ne esisäätöarvot,

joilla saavutetaan halutut virtaamat. Tähän laskentaan on kehitetty tietokoneohjelmia, joiden avulla voidaan laskea venttiileille oikeat säätöarvot tai ainakin päästä lähelle oikeita arvoja. Lopullinen hienosäätö venttiileiden esisäätöarvoihin tehdään tarvittaessa tasapainotusmittausten ja sisälämpötilamittausten yhteydessä.

Arvioiden mukaan Suomen asuinrakennuksista jopa kolme neljästä on perussäädön tarpeessa [9]. Perussäädön lähtökohtana on usein epätasaisesti jakautuneet huonelämpötilat ja häiritsevät virtausäänet patteriventtiileiltä. Kun rakennukseen tehdään lämmitystarpeeseen vaikuttavia muutoksia, kuten ikkunoiden uusimista tai lisäeristämistä, on perussäädön tarpeellisuutta aina syytä tarkastella. Perussäätö on syytä tehdä viimeistään siinä yhteydessä, kun patteriventtiilit ovat tulleet käyttöikänsä päähän, ja ne joudutaan uusimaan.

Ennen varsinaista laskennallisen suunnittelun aloittamista on suunnittelijan selvítettävä kohteesta kaikki laskennan kannalta oleelliset tiedot. Parhaassa tapauksessa suunnittelu päästään aloittamaan vanhoilla lämpöjohtokuvilla. Välillä tilanne on kuitenkin se, että kohteesta ei löydy lämpöjohtokuvia, vaan suunnitteluun joudutaankin lähtemään arkkitehtikuvien pohjalta. Saadakseen käsityksen rakennuksen nykytilanteesta on suunnittelijan käytävä paikan päällä tekemässä kartoituskäynti. Kartoituksen tarkoituksena on selvittää lämmitysjärjestelmän varusteiden uusimistarpeet ja kerätä tietoja jonka pohjalta suunnittelija laatii työselostuksen.

Jos lämpöjohtokuvat ovat tallessa, jää laskentaan liittyen lähinnä selvittäväksi kuvien paikkansapitävyys, ja lämpöhäviölaskennan kannalta oleellisten tietojen merkitseminen ylös. On esimerkiksi yleistä, että pattereita on joko uusittu tai että niitä on poistettu kokonaan käytöstä. Huoneistoissa käydessä kannattaa myös tarkastaa, löytyykö rätipattereita ja lattialämmityksiä, joita saattaa olla kytketty lämpöjohtoverkoston. Rakenteiden osalta tarkastetaan mm. ikkunoiden tyyppi ja korkeus, sillä nämä tiedot eivät välttämättä selviä kuvista. Ilmanvaihdon kannalta on oleellista selvittää, onko kyseessä painovoimainen, koneellinen poisto- vai täysin koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto.

Jos lämpöjohtokuvia ei ole, on kartoitukseen varattava enemmän aikaa. Muilta osin kartoituskäynti etenee samalla tavalla, mutta patteriverkoston tiedot on ns. koodattava arkkitehtikuviin. Laskentaa varten selvitetään patteriverkoston osalta seuraavat tiedot mahdollisuuksien mukaan:



- Jokaisen huonetilan patterin tyyppi sekä mitat
- Jokaisen patterin venttiilikoko
- Eristämättömät nousuputket huonetiloissa sekä niiden koko
- Runkolinjan reitti, putkikoko ja eristystaso
- Linjasäätöventtiilien sijainti ja koko

### 3 Tasapainotuslaskenta

#### 3.1 Lämmitystehontarpeen laskenta

Perussäädön laskennallinen osuus lähtee huonetilojen lämmitystehontarpeen laskennasta. Rakennuksen lämmitystehontarve lasketaan tilakohtaisesti, ja se riippuu pääasiassa rakenteiden johtumislämpöhäviöistä, ilmavuodoista ja ilmanvaihdosta.

$$\dot{Q}_{tila} = \dot{Q}_{johtuminen} + \dot{Q}_{vuotoilma} + \dot{Q}_{tuloilma} + \dot{Q}_{korvausilma} \quad (1)$$

$\dot{Q}_{tila}$  on tilan lämpötehon tarve, W

$\dot{Q}_{johtuminen}$  on johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi, W

$\dot{Q}_{vuotoilma}$  on vuotoilman lämpenemisen lämpötehotarve, W

$\dot{Q}_{tuloilma}$  on teho tuloilman lämmittämiseen tilassa, W

$\dot{Q}_{korvausilma}$  on teho korvausilman lämmittämiseen tilassa, W

Rakennusvaipan läpi johtuvat lämpöhäviötehot koostuvat eri rakennusosien ja kylmäsiltojen yhteen lasketuista lämpöhäviöistä. Rakennusosille kuten ulkoseinät, ikkunat, ovet, alapohja ja yläpohja on olemassa oma lämmönläpäisykertoimensa. Kylmäsiltoja ilmenee rakennusosien välisissä liitoskohdissa, ja näille liitoskohdille on Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D5 määritelty omat lisäkonduktanssiarvot.

$$\dot{Q}_{johtuminen} = \dot{Q}_{rakennusosa} + \dot{Q}_{kylmäsilat} \quad (2)$$

$$\dot{Q}_{rakennusosa} = U * A * (t_s - t_u) \quad (3)$$

$$\dot{Q}_{kylmäsilat} = l_k * \Psi_k * (t_s - t_u) \quad (4)$$

$\Phi_{rakennusosa}$  on johtumislämpöteho rakennusosan läpi, W

$\Phi_{kylmäsillat}$  on johtumislämpöteho kylmäsiltojen läpi, W

$U$  on rakennusosan lämmönläpäisykerroin, W/(m<sup>2</sup>K)

$A$  on rakennusosan pinta-ala, m<sup>2</sup>

$t_s$  on sisäilman lämpötila, °C

$t_u$  on ulkoilman lämpötila, °C

$l_k$  on viivamaisen kylmäsilan pituus, m

$\Psi_k$  on viivamaisen kylmäsilan lisäkonduktanssi, W/(Km)

Taulukko 1. Yleisiä rakenteiden U-arvoja eri aikakausina [12].

	1962	1976	1978	1985	2003	2007	2010
ulkoseinä	0,81	0,4	0,29	0,28	0,25	0,24	0,17
yläpohja	0,47	0,35	0,23	0,22	0,16	0,15	0,09
alapohja	0,47	0,4	0,4	0,36	0,25	0,24	0,17
ikkunat	3,14	2,1	2,1	2,1	1,4	1,4	1,0

Ilmanvaihdosta ja vuotoilmasta aiheutuvat lämpöhäviöt saadaan laskettua yhtälöillä 5, 6 ja 7

$$\Phi_{tuloilma} = \rho_i * c_{pi} * q_{v,tulo} * (t_s - t_{sp}) \quad (5)$$

$$\Phi_{korvausilma} = \rho_i * c_{pi} * q_{v,korvaus} * (t_s - t_u) \quad (6)$$

$$\Phi_{vuotoilma} = \rho_i * c_{pi} * q_{v,vuoto} * (t_s - t_u) \quad (7)$$

$\rho_i$  on ilman tiheys, 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$c_{pi}$  on ilman lämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)

$t_s$  on sisäilman lämpötila, °C

$t_u$  on ulkoilman lämpötila, °C

$t_{sp}$  on sisäänpuhalluslämpötila, °C

Ennen 1960-lukua painovoimainen ilmanvaihto oli yleisimmin käytetty ilmanvaihtojärjestelmä asuinkerrostaloissa. Tämän jälkeen koneellinen poistoilmanvaihto alkoi hiljalleen

yleistymään. Ilmanvaihdon tehonarpeen laskeminen vanhoille asuinkerrostaloille on osoittautunut melko haastavaksi, sillä ilman vaihtuvuus voi todellisuudessa olla melko epämääräistä. Vaikka ilmamäärät olisivat tarkkaan säädetyt, on silti vaikea arvioida, mikä osuus tulee suoraan ulkoilmasta ja mikä esimerkiksi porraskäytävän kautta. Korkeissa kerrostaloissa eri kerrosten asunnot eivät ole ilmanvaihdon suhteen samassa asemassa ilman tiheyseroista johtuvan savupiippuefektin vuoksi. Tästä johtuen alimpien kerrosten asunnot saavat usein suurimman osan korvausilmastaan suoraan ulkoilmasta, kun taas ylemmissä kerroksissa osa ilmanvaihdosta tulee porraskäytävän kautta. [2]

### 3.2 Patterin lämmönluovutus

Patterin luovuttama lämmitysteho on riippuvainen veden lämpötilasta, vesivirrasta sekä huonelämpötilasta. Jos tiedossa on patterin läpi kulkeva vesivirta sekä meno- ja paluuveden lämpötila voidaan patterin luovuttama teho laskea yhtälöllä 8.

$$\dot{Q} = q_v * \rho * C_{pv}(t_m - t_p) \quad (8)$$

$\dot{Q}$  on patterin lämmönluovutusteho, kW

$\rho$  on veden tiheys, 1 kg/l

$q_v$  on patterin vesivirta, l/s

$C_{pv}$  on veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/kgK

$t_m$  on menoveden lämpötila, °C

$t_p$  on paluuveden lämpötila, °C

Patterivalmistajien taulukoissa on yleensä annettu patteritehot tietyillä vertailulämpötiloilla esim.  $t_m = 70$  °C,  $t_p = 40$  °C ja  $t_h = 20$  °C. Kun halutaan tarkastella patterin lämmitystehoa eri vertailulämpötiloilla, se on tehtävä logaritmisella yllilämpötilan avulla. Kun tiedetään patterin teho tietyillä vertailulämpötiloilla, voidaan logaritminen yllilämpötila kyseiselle tilanteelle laskea yhtälöllä 9. Yhtälöllä 10 saadaan laskettua kyseisen patterin lämmitysteho eri logaritmisilla yllilämpötiloilla. Jotkut valmistajat antavat tehon suoraan tietyille logaritmiselle yllilämpötilalle.

$$\theta_{ln} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln \frac{\theta_1}{\theta_2}} \quad (9)$$

$\theta_{ln}$  on logaritminen ylälämpötila, °C

$\theta_1$  on menoveden lämpötilan ja huonelämpötilan erotus, °C

$\theta_2$  on paluuveden lämpötilan ja huonelämpötilan erotus, °C

$$\phi = \phi_r \left( \frac{\theta_{ln}}{\theta_{lnr}} \right)^n \quad (10)$$

$\phi$  on patterin lämmönluovutusteho, kW

$\phi_r$  on patterin lämmönluovutuksen vertailuteho, kW

$\theta_{ln}$  on logaritminen ylälämpötila, °C

$\theta_{lnr}$  on vertailulämpötiloilla laskettu logaritminen ylälämpötila, °C

$n$  on patterieksponentti, levypattereille 1,3

Otetaan esimerkiksi patteriverkosto, jonka menoveden lämpötila on 65 °C. Huoneen te-hontarve on 750 W ja haluttu huonelämpötila 21 °C. Huoneeseen on sijoitettu Purmon 1200-500-C21-patteri, jonka teho vertailulämpötiloilla 70/40/20 °C on 801 W. Halutaan selvittää patterille tarvittu virtaama.

Ratkaistaan logaritminen ylälämpötila vertailulämpötiloilla 70/40/20 yhtälöllä 9.

$$\theta_{lnr} = \frac{(70^\circ\text{C}-20^\circ\text{C})-(40^\circ\text{C}-20^\circ\text{C})}{\ln \frac{(70^\circ\text{C}-20^\circ\text{C})}{(40^\circ\text{C}-20^\circ\text{C})}} = 32,74^\circ\text{C}$$

Ratkaistaan tarvittava logaritminen ylälämpötila menovedellä 65 °C huonelämpötilalla 21 °C teholla 750 W yhtälöllä 10.

$$\frac{\phi}{\phi_r} = \left( \frac{\theta_{ln}}{\theta_{lnr}} \right)^n \rightarrow \theta_{ln} = \theta_{lnr} \left( \frac{\phi}{\phi_r} \right)^{\frac{1}{n}}$$

$$\theta_{ln} = 32,74^\circ\text{C} * \left( \frac{750\text{W}}{801\text{W}} \right)^{\frac{1}{1,3}} = 31,12^\circ\text{C}$$

Ratkaistaan iteroimalla paluuveden lämpötila, jolla tarvittava ylälämpötila toteutuu yhtä-lössä 9. esim. Excelin Goal Seek-toimintoa apuna käyttäen.

$$\theta_{lnr} = \frac{(65^{\circ}\text{C}-21^{\circ}\text{C})-(42,05^{\circ}\text{C}-21^{\circ}\text{C})}{\ln\frac{(65^{\circ}\text{C}-21^{\circ}\text{C})}{(42,05^{\circ}\text{C}-21^{\circ}\text{C})}} = 31,12^{\circ}\text{C}$$

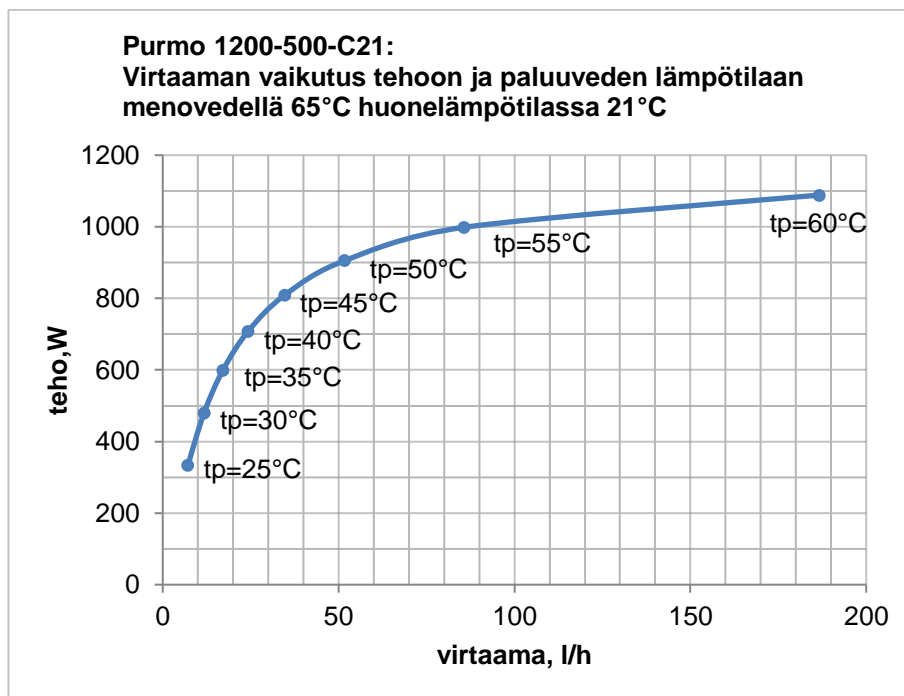
$$t_p = 42,05^{\circ}\text{C}$$

Patterin virtaama saadaan ratkaistua yhtälöllä 8.

$$\Phi = q_v * \rho * C_p (t_m - t_p) \rightarrow q_v = \frac{\Phi}{\rho * C_p (t_m - t_p)}$$

$$q_v = \frac{750\text{W}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} (65^{\circ}\text{C} - 42,05^{\circ}\text{C})} = 0,00778 \text{ l/s} = 28,01 \text{ l/h}$$

Kuvassa 2 on esitetty virtaaman vaikutus patterin tehoon ja paluuveden lämpötilaan, menoveden lämpötilan pysyessä samana. Kuvaaja on tehty Excel-taulukkolaskentaohjelmalla yhtälöitä 8-10 käyttäen.

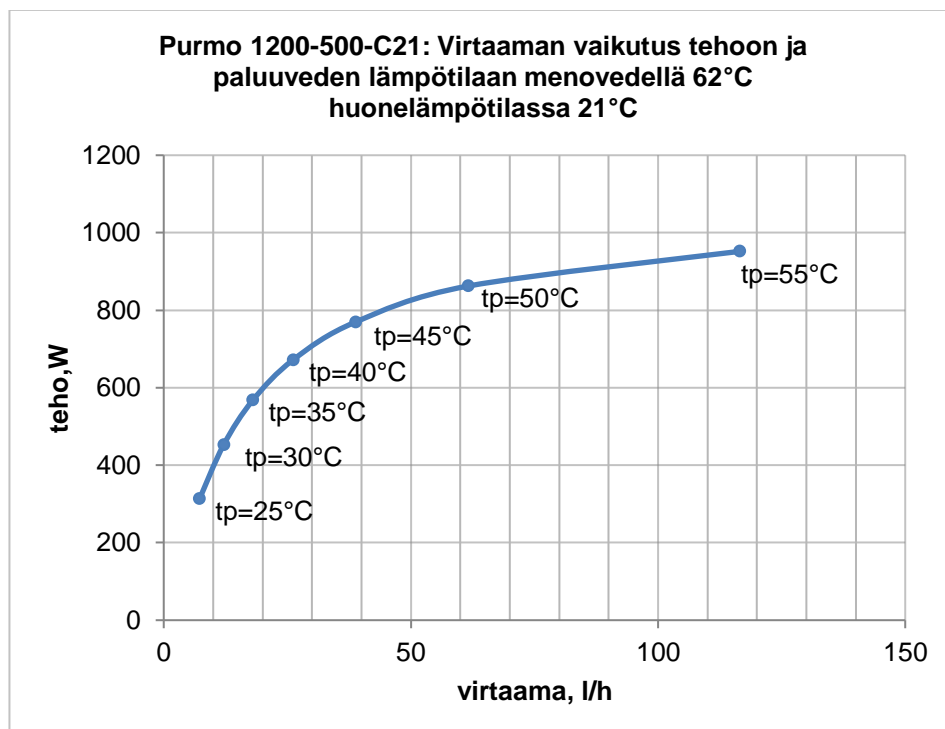


Kuva 2. Purmo 1200-500-C21: Virtaaman vaikutus tehoon ja paluuveden lämpötilaan menovedellä 65 °C huonelämpötilassa 21 °C

### 3.3 Menoveden jäähtymä

Patteriverkostojen runkojohdoissa ei juurikaan tapahdu jäähtymistä, sillä ne ovat yleensä pääosin eristettyjä. Sen sijaan eristämättömissä nousulinjoissa saattaa vesi jäähtyä useamman asteen ennen linjan viimeistä patteria. Eristämättömät nousulinjat luovuttavat lämpöä välikerrokseen ja vähentävät näin ollen välikerrosten pattereilta tarvittavaa tehoa. Mikäli tätä ei huomioida laskennassa, saattaa linjan viimeisille pattereille aiheutua merkittävä tehovaje.

Otetaan vertailuna edellisen esimerkin patteri 1200-500-C21, joka antoi lämpötiloilla 65/42,05/21 °C ja virtaamalla 28,01 l/h tehon 750 W. Mikäli menovesi jäähtyy linjassa 62 °C:seen, saavutetaan patterilta samalla virtaamalla enää 701 W.

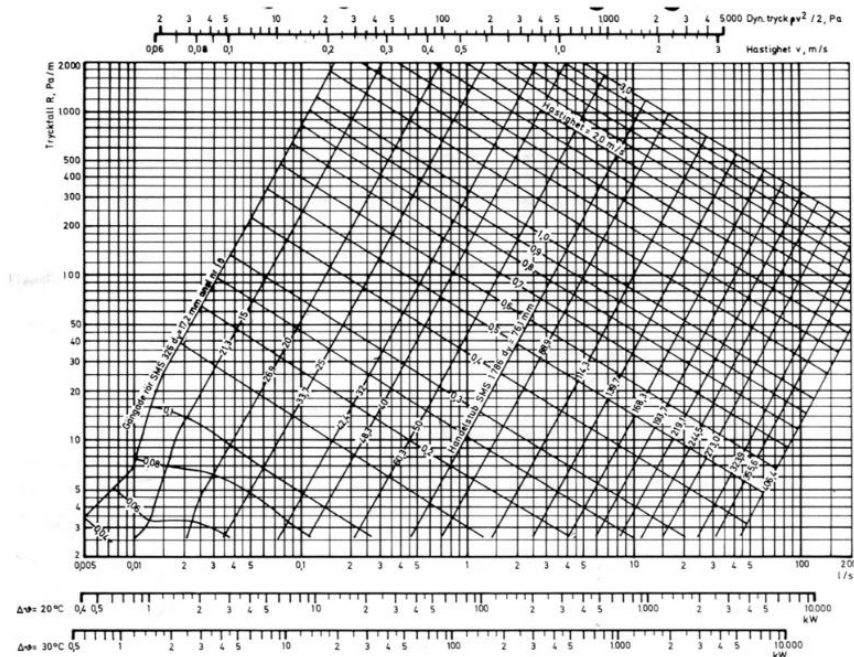


Kuva 3. Purmo 1200-500-C21: Virtaaman vaikutus tehoon ja paluuv veden lämpötilaan menovedellä 62 °C huonelämpötilassa 21 °C

### 3.4 Putkiston painehäviöt

Putkivirtauksessa syntyy kahdenlaisia häviöitä: kitkahäviöitä ja kertahäviöitä. Kitkahäviöt aiheutuvat putken kitkasta ja kertahäviöitä syntyy mm. mutkissa, venttiileissä sekä virtauksen

haarautumisissa ja yhtymisissä. Useille putkimateriaaleille on saatavilla taulukkotietona painehäviö putkimetriä kohden tietyllä virtaamalla ja putkikoolla. Useimmiten patteriverkostojen putkimateriaalina käytetään mustaa teräsputkea. Kuvassa 4 on esitetty teräsputken painehäviönomogrammi.



Kuva 4. Teräsputken painehäviönomogrammi

Patteriverkostojen virtaukset ovat tyypillisillä virtausnopeuksilla pääosin turbulenttisia. Turbulenttisesta virtauksesta aiheutuvan painehäviön voidaan karkeasti todeta olevan verrannollinen tilavuusvirtaan yhtälön 11 mukaisesti. Kaavasta voidaan huomata, että virtaaman puolittuessa painehäviöt pienenevät noin neljäsosaan.

$$\frac{\Delta p_2}{\Delta p_1} = \left( \frac{q_{v2}}{q_{v1}} \right)^2 \quad (11)$$

$\Delta p$  on putkiosuuden painehäviö, Pa

$q_v$  on virtaama, l/s

### 3.5 Vapaakierto

Vapaakierto eli painovoimainen kiertovoima perustuu meno- ja paluuputkessa virtaavan veden tiheyseroon. Veden tiheys kasvaa veden jäähtyessä, minkä vuoksi vesi on

paluuputkessa tiheämpää kuin menoputkessa. Vapaakierron vaikutus meno- ja paluuputken väliselle paine-erolle saadaan yhtälöllä 12.

$$\Delta p = (\rho_{Tp} - \rho_{Tm}) * g * h \quad (12)$$

$\Delta p$  on vapaakierron vaikutus paine-eroon, Pa

$\rho_{Tp}$  on paluuveden tiheys kg/m<sup>3</sup>

$\rho_{Tm}$  on menoveden tiheys kg/m<sup>3</sup>

$g$  on gravitaatiovoima 9,81 m/s<sup>2</sup>

$h$  on korkeusero vertailupisteeseen, m

Yhtälöstä 12 huomataan että vapaakierron vaikutusta syntyy siellä, missä putkistossa esiintyy korkeuseroja, eli lähinnä nousulinjoissa. Tyypillinen tilanne nousulinjoissa on, että vapaakierron vaikutus ja kitkapainehäviöt kumoavat toisensa. 1970-luvun ja sitä vanhempien rakennusten verkostot taas ovat usein niin väljästi mitoitettuja, että paine-ero jopa kasvaa ylempiä kerroksia kohti.

### 3.6 Säätoarvojen määrittäminen

Lämmitysverkoston vesivirtojen säätö tapahtuu pattereiden yhteydessä olevilta patteriventtiileiltä sekä rungosta haarautuvien linjojen yhteydessä olevilta linjaventtiileiltä. Hyväksi todettu menetelmä perussäädön lähtökohtana on ns. paine-eromenetelmä. Paine-eromenetelmässä linjaventtiileitä kuristetaan niin, että jokaisen linjan alkuun saadaan sama paine-ero meno- ja paluujohdon välille.

Se mitä paine-eroa linjojen alkuun halutaan tavoitella, riippuu pitkälti siitä, kuinka paljon kyseisen verkoston linjoissa tapahtuu painehäviötä. Liian suuri paine-ero saattaa aiheuttaa häiritsevää ääntä patteriventtiileillä. Mikäli paine-ero taas laskee linjan loppupäässä liian pieneksi, ei pystytä saavuttamaan haluttua virtaamaa patterille. Tyypillisesti linjan alkuun valitaan paine-eroksi n. 4–6 kPa.

Kun on tiedossa pattereiden virtaamat ja verkostossa tapahtuvat painehäviöt, voidaan laskea venttiileille  $k_v$ -arvot.  $K_v$ -arvo on kerroin, jonka avulla venttiilin esisäätoarvo voidaan määrittää venttiilivalmistajan taulukosta. Venttiilin kapasiteettikerroin  $k_v$  ilmoittaa



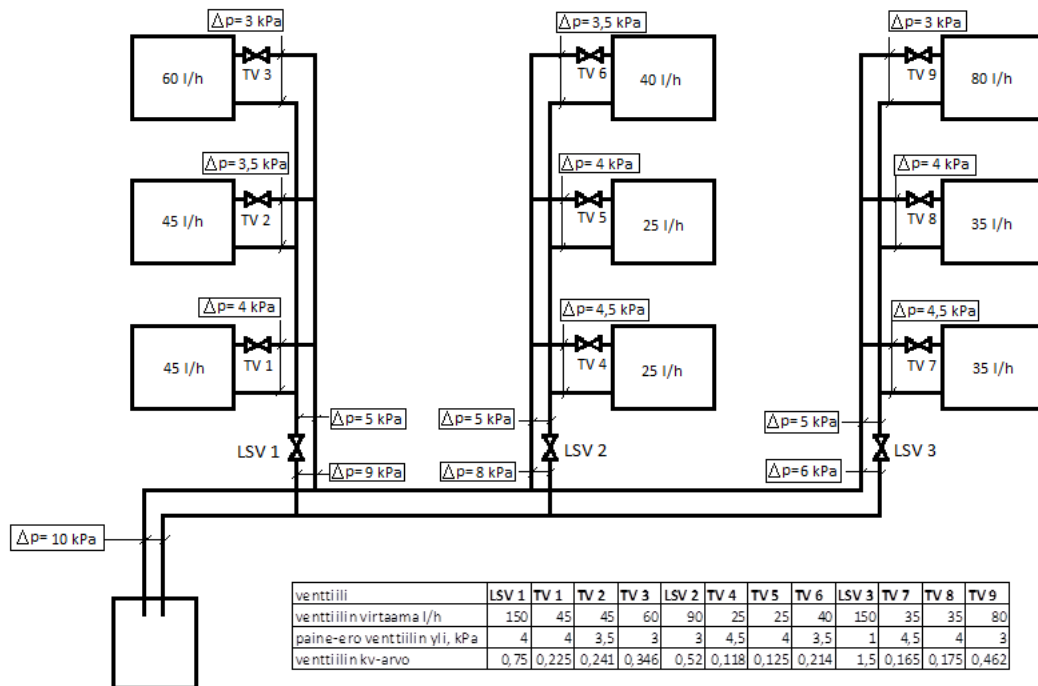
venttiilin vesivirran m<sup>3</sup>/h kun sen yli vaikuttava paine-ero on 1 bar eli 100 kPa. K<sub>v</sub>-arvo saadaan laskettua kaavalla 13.

$$k_v = \frac{q_v}{\sqrt{\Delta p}} \quad (13)$$

$q_v$  on virtaama, m<sup>3</sup>/h

$\Delta p$  on venttiilin painehäviö, bar

Kuvassa 5 on esitetty patteriverkosto, joka on tasapainotettu paine-eromenetelmällä. Linjojen alkuun on valittu paine-eroksi 5 kPa. Kuvaan 5 on merkitty paine-erotaso meno- ja paluupuolen välillä eri puolilla verkostoa, sekä pattereille suunnitellut virtaamat. Kuvan 5 yhteydessä olevassa taulukossa on esitetty venttiileille lasketut kv-arvot.



Kuva 5. Paine-eromenetelmällä tasapainotettu patteriverkosto.

Kun venttiilien kv-arvot on määritetty, voidaan esisäätöarvot katsoa suoraan venttiilivalmistajan taulukosta. Kuvassa 6 on esitetty Danfoss RA-N-patteriventtiilin säätöarvotaulukko eri kv-arvoille.

Malli	RA-N 10	RA-N 15	RA-N 20	RA-N 20 UK
Esisäätöarvo	$k_v$ -arvo: virtaama m <sup>3</sup> /h paine-ero $\Delta p = 1$ bar			
1,0	0,04	0,04	0,10	0,08
1,5	0,06	0,06	0,14	0,12
2,0	0,08	0,08	0,17	0,16
2,5	0,10	0,10	0,18	0,20
3,0	0,12	0,12	0,19	0,24
3,5	0,16	0,16	0,25	0,30
4,0	0,19	0,20	0,30	0,36
4,5	0,22	0,25	0,36	0,44
5,0	0,25	0,30	0,42	0,52
5,5	0,29	0,35	0,52	0,61
6,0	0,33	0,40	0,62	0,69
6,5	0,36	0,46	0,71	0,76
7,0	0,38	0,51	0,80	0,82
N	0,56	0,73	1,17	0,85
$k_{vs}$	0,65	0,90	1,58	1,03

Kuva 6. Danfoss RA-N-patteriventtiilin esisäätöarvotaulukko. [13]

## 4 Tasapainotuslaskenta Jaconilla

Patteriverkostojen tasapainotuslaskennassa on jo pidemmän aikaa ollut käytössä tietokoneohjelmia jotka osaavat laskea oikeat vesivirrat pattereille ja säätöarvot venttiileille. Laskenta suoritetaan yleensä yhden valitun ulkolämpötilan mukaan, esimerkiksi huippupakkasten mitoitusolosuhteen mukaan, joka Etelä-Suomessa on  $-26\text{ °C}$ . Kun vesivirrat on laskettu tietyssä olosuhteessa, pystytään huonelämpötilat pitämään oikealla tasolla lämmityskauden aikana säätelemällä verkoston menoveden lämpötilaa ulkolämpötilan mukaan.

Yleisesti käytettyjä LVI-suunnitteluohjelmia, kuten MagiCadia, on mahdollista hyödyntää patteriverkostojen tasapainotuslaskennassa. Jaconi-laskentaohjelmisto on yksinomaan tasapainotuslaskentaa varten kehitetty ohjelmisto. Jaconi on tällä hetkellä monessa mielessä kehittyneempi työkalu tasapainotuslaskentaan verrattuna käytössä oleviin CAD-suunnitteluohjelmiin. Jaconin etuihin kuuluu muun muassa, että se huomioi veden jäähdytymisen putkistossa sekä painovoimaisen kiertovoiman vaikutuksen paine-erotasoihin. Lisäksi se ottaa huomioon pattereiden mahdollisen yli- ja alimitoituksen vesivirran laskennassa. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että eri pattereilta palaavan veden lämpötilat poikkeavat hieman toisistaan.

#### 4.1 Huonetyyppien määrittäminen

Huoneen lämmitystehontarve koostuu rakenteiden läpi johtuvista lämpöhäviöistä sekä ilmanvaihdon aiheuttamasta lämmitystarpeesta. Jaconi osaa laskea lämmitystehontarpeen, kunhan suunnittelija syöttää ohjelmistoon tarvittavat perustiedot. Suunnittelijan on kuitenkin selvitettävä rakennusosien U-arvot ja ilmanvaihdon sisäänpuhalluslämpötila mitoitusolosuhteessa.

Jotta ohjelma osaa laskea jokaiselta patterilta vaadittavan lämmitystehon, on rakennus jaettava huonetyyppeihin. Jokainen poikkeava huonetila nimetään omaksi huonetyypiksi ja siihen lisätään lämmitystarvetta aiheuttavat tekijät kuten ulkoseinät, ikkunat ja ilmanvaihdon määrä. Yläkerroksissa on lisäksi huomioitava kylmä yläpohja ja alimmassa kerroksessa mahdollinen kylmä alapohja. Lopuksi huonetyyppiin syötetään huoneen patterimalli ja koko. Tarvittaessa huonetyypille on mahdollista syöttää useampi patteri.

Saadakseen todellisen patterilta vaadittavan tehon on Jaconissa mahdollisuus syöttää tiloihin ilmaistehoja. Niitä on hyvä syöttää esimerkiksi keittiöiden kohdalla, sillä keittiön kodinkoneet tuottavat lämpöä huoneeseen. Jaconissa on myös mahdollisuus syöttää huonetyyppeihin eristämättömät nousuputket, jotka usein tuottavat välikerroksissa merkittävän osan huoneen lämpötehosta.

#### 4.2 Verkoston mallintaminen

Verkoston mallintamisen tavoitteena on selvittää jokaiselle patterille käytettävissä oleva paine-ero ja veden lämpötila. Nämä vaihtelevat eri puolilla verkostoa riippuen putkituksessa tapahtuvista painehäviöistä ja menoveden jäähtymisestä. Verkoston mallintaminen tarkoittaa käytännössä sitä, että verkoston jokainen putkiosuus huonetiloihin ja pattereihin syötetään laskentaohjelmaan.

Verkoston syöttäminen aloitetaan lämmönjakuhuoneesta ja edetään putkiosuus kerrallaan, aina seuraavalle haaralle. Jokaiselle putkiosuudelle on määritettävissä putkikoko, sekä kolme eristysvaihtoehtoa: eristetty, kevyesti eristetty, ja eristämätön. Lisäksi putkiosuudelle on määritettävissä, onko kyseessä vaaka-, lasku-, tai nousuputki, jolloin ohjelmassa otetaan huomioon painovoimaisen kiertovoiman vaikutus.

Verkostoa syötettäessä voi valita, syöttääkö mukaan myös linjasäätöventtiilit, vai jättääkö ne pois. Jos linjasäätöventtiileitä ei syötä, tapahtuu verkoston tasapainotus pelkkien patteriventtiilien avulla. Linjasäätöventtiilien pois jättäminen tasapainotuksesta on usein hyvä vaihtoehto tapauksissa, jossa runkoputken painehäviö jää hyvin pieneksi. Jos linjaventtiilien käyttö valitaan jättää pois, on tasapainotus tehtävä paine-eromenetelmällä, sillä virtausmittaukset linjasäätöventtiileiltä vaativat käytännössä vähintään 3 kPa:n painehäviön venttiilin yli luotettavan mittaustuloksen saamiseksi.

#### 4.3 Tasapainotilanteen simulointi

Kun verkosto huonetiloineen ja pattereineen on syötetty, voidaan suorittaa itse laskenta. Laskentavaiheessa ohjelma suorittaa tasapainotilanteen simuloinnin tietyssä suunnitellijan määrittelemässä mitoitusolosuhteessa. Ennen itse laskennan suorittamista on siis oltava valittuna ulkolämpötila, jossa simulointi suoritetaan ja toivottu sisälämpötila huonetiloissa, sekä lisäksi arvio menoveden lämpötilasta kyseisessä laskentatilanteessa. Yleensä ulkolämpötila, jossa laskenta suoritetaan, valitaan läheltä mitoistilannetta esim.  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Lämpötilaolosuhteiden lisäksi on oltava myös valittuna linjojen alussa käytettävissä oleva paine-ero meno- ja paluupuolen välillä. Mikäli linjasäätöventtiilit on syötetty mallinnuksen yhteydessä, laskee ohjelma linjasäätöventtiilien kuristukset niin, että jokaisen linjan alussa on käytettävissä valittu paine-ero. Jos linjasäätöventtiilit jätetään pois, laskee ohjelma koko verkoston yhtenä linjana, siten että verkoston alussa, eli lämmönjakohuoneen kohdalla on valittu paine-ero. Yleensä paine-eroksi valitaan 4–6 kPa.

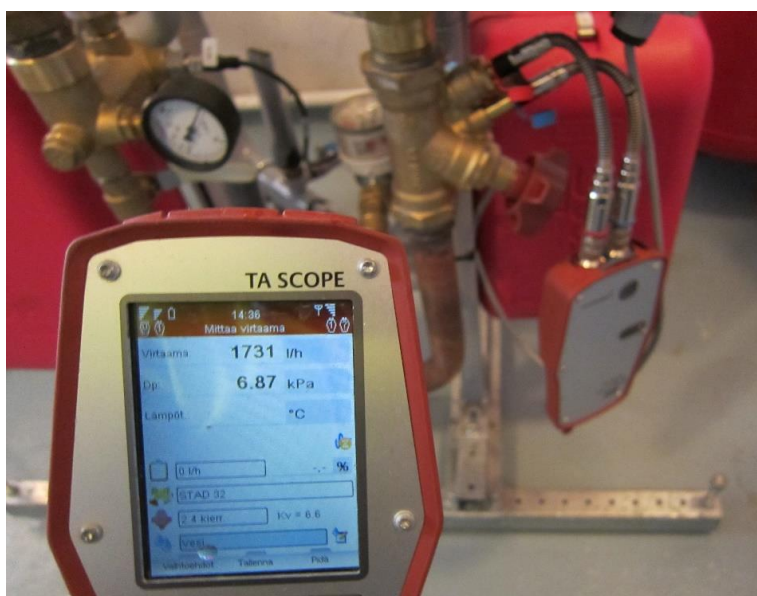
Kun halutut lähtökohdat laskentaa varten on syötetty, ohjelma laskee linjasäätö- ja patteriventtiileille kv-arvot. Useimpien patteriventtiilityyppien osalta ohjelma myös antaa suoraan kv-arvoa vastaavan esisäätöarvon. Laskenta suoritetaan useilla menoveden lämpötiloilla, ja tarvittaessa muutetaan linjojen alkuun valittua paine-eroa, jotta parhaat asetukset verkostolle löytyvät. Yksi tärkeimmistä ehdoista on löytää sellaiset asetukset, jolla kv-arvot pysyvät venttiilien säätöalueella.

## 5 Tasapainotusmittaukset

Kun patteri- ja linjasäätöventtiilien esisäättöarvot on asetettu laskennasta saatuihin arvoihin ja verkosto on toimintakunnossa, voidaan suorittaa tasapainotusmittaukset. Tasapainotusmittausten tarkoituksena on varmistaa, että suunnitellut vesivirrat ja paine-erotasot toteutuvat. Mittausten yhteydessä pystytään havaitsemaan verkoston toimintaan vaikuttavat tekijät, jotka ovat laskennassa jääneet huomioimatta, sekä urakan yhteydessä tapahtuneet virheet. Tarvittaessa venttiileihin tehdään vielä säätöjä, jotta suunnitellut vesivirrat ja paine-erotasot toteutuvat. Tasapainotuksessa käytettyjä menetelmiä ovat virtausmittausmenetelmä ja paine-eromenetelmä.

### 5.1 Virtausmittausmenetelmä

Virtausmittausmenetelmässä mitataan nimensä mukaisesti linjojen vesivirtoja ja säädetään ne vastaamaan suunniteltuja arvoja. Virtausmittauksissa mittaukset tehdään linjasäätöventtiilien mittausyhteiltä. Käytännössä mittausyhteiltä mitataan venttiilin yli vaikuttavaa paine-eroa, mutta kun tämän lisäksi tiedetään venttiilikoko sekä venttiilin säätöarvo, saadaan virtaus selville venttiilivalmistajan käyrästä. Virtausmittauksissa käytetään yleisesti paine-eroantureilla toimivia virtausmittareita, joissa virtauksen voi lukea langattomasti erilliseltä näyttöyksiköltä. Kuvassa 7 näkyy TA Scope-mittalaite mittaamassa linjasäätöventtiilin virtaamaa.

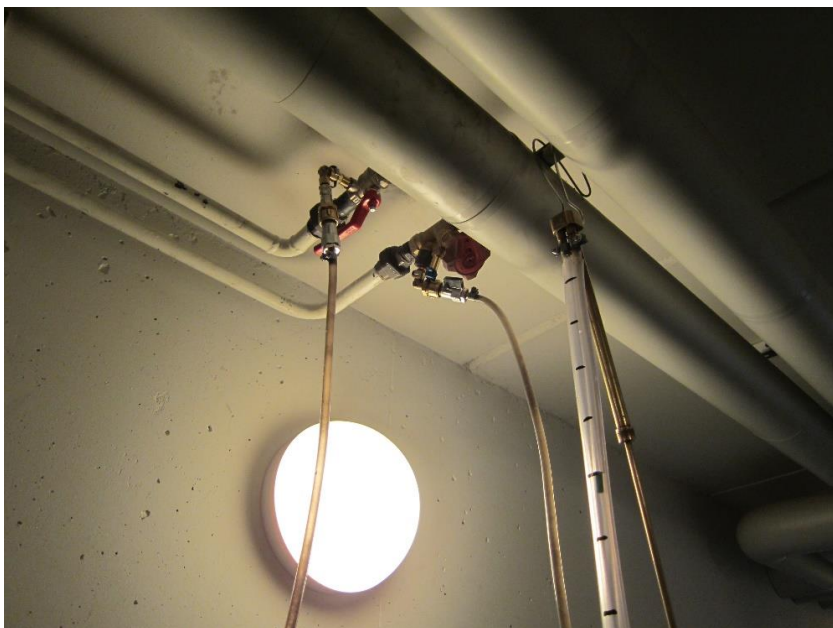


Kuva 7. TA Scope-mittalaite mittaamassa linjasäätöventtiilin virtaamaa

Virtausmittausmenetelmän haittapuoliin kuuluu muun muassa, että linjasäätöventtiileitä joudutaan kuristamaan myös verkoston perältä, sillä luotettavan mittaustuloksen saamiseksi venttiiliä on kuristettava vähintään 3 kPa. On myös olemassa riski, että linjaventtiiliä kuristetaan turhaan, mikäli linjaan on jäänyt säätämättömiä, auki-asennossa olevia patteriventtiileitä. Säätämättömät patteriventtiilit näkyvät mittauksessa suurempana virtaamana, jolloin tilannetta saatetaan yrittää korjata kuristamalla linjaventtiiliä. Tämä taas johtaa siihen, että kyseisen linjan muille pattereille ei enää saavutetakaan haluttua virtaamaa.

## 5.2 Paine-eromenetelmä

Patteriventtiilin virtaamat suunnitellaan käytettävissä olevan paine-eron mukaan ja juuri tätä suuretta paine-eromenetelmässä mitataan. Mittaukset suoritetaan yleensä linjasäätöventtiilien linjan puoleiselta mittausyhteeltä sekä menopuolen sulkuventtiilien yhteyteen asennetuilta mittausyhteiltä. Tällöin saadaan mitattua jokaisen linjan alkuun tuleva paine-erotaso. Mittausyhteitä voidaan asentaa myös pattereiden yhteyteen, jolloin saadaan mitattua kyseiselle patterille käytettävissä oleva paine-ero. Alle 10 kPa:n paine-erojen mittaamiseen voidaan käyttää esim. kuvan 8 mukaista vesimanometriä.



Kuva 8. Vesimanometri asennettuna mittaamaan linjan alkuun tulevaa paine-eroa

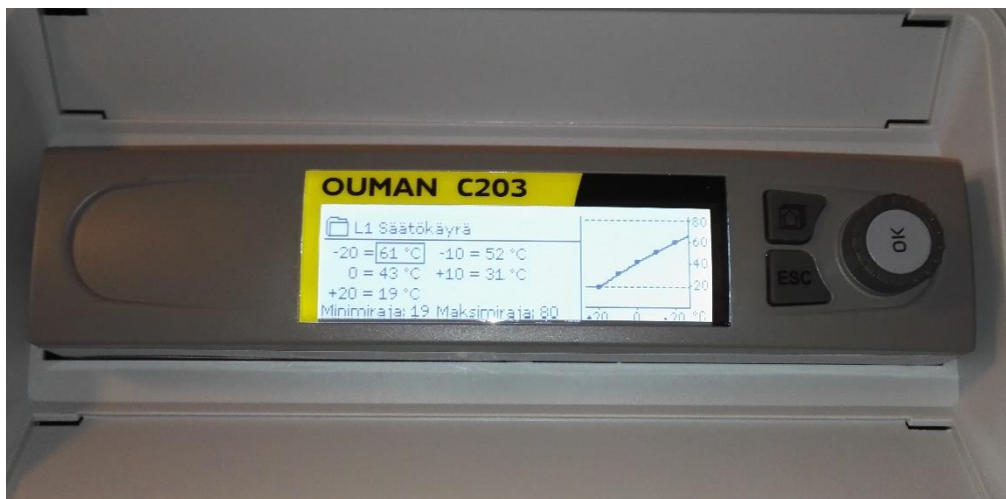
Virtausmittauksiin nähden paine-eromenetelmässä lukuisia etuja. Suunnitellut paine-erotasot ja virtaamat toteutuvat yleensä paremmin mm. siksi, että linjasäätöventtiilistä aiheutuvaa mittausvirhettä ei ole. Paine-eromenetelmällä pystytään myös helpommin välttämään ääniongelmien syntymistä, sillä yleensä ääniongelmat aiheutuvat liiallisesta paine-erosta patteriventtiilin yli. Lisäksi lämpöjohtopumpulle riittää paine-eromenetelmällä poikkeuksetta pienempi paineenkorotus, sillä turhaa linjaventtiilien kuristamista voidaan välttää.

## 6 Menovesikäyrä

Rakennuksen eri tilojen sisälämpötilat pidetään halutuissa arvoissa säätämällä lämmitysverkostoon menevän veden lämpötilaa. Asuinrakennuksissa menovesikäyrä asetellaan tavallisesti lämmönjakokeskuksella olevasta lämmönsäätimestä ja ohjaus tapahtuu tyypillisimmin siten, että verkostoon menevän veden lämpötila määräytyy ulkolämpötilan mukaan.

Vaikka menovesikäyrän määrittämisessä voidaan laskennallisestikin päästä lähelle oikeita asetusarvoja, on usein vielä tarpeellista tehdä lopullinen säätö sisälämpötilahavaintojen perusteella. Säätokäyrän asetteluun vaikuttavat useat rakennuksen ominaispiirteet, kuten rakennuksen sijaintipaikan tuulisuus ja aurinkoisuus sekä julkisivujen suuntaus.

Optimaalinen säätokäyrä ei ole täysin lineaarinen. Tämä johtuu siitä, että pattereiden lämmönluovutusteho voimistuu menoveden lämpötilan noustessa, kuten yhtälöstä 10 voidaan nähdä. 3-pistekäyrällä on syytä tehdä pieni korotus menoveden lämpötilaan ulkolämpötilan ollessa 0 °C:n tietämillä. Lisäksi pitkäaikaisten kokemusten perusteella on todettu, että kyseisillä ulkolämpötiloilla tuulee ja sataa keskimääräistä enemmän. Korotuksella kompensoidaan myös tuulen ja sateen aiheuttamaa korottavaa vaikutusta lämpöhäviöihin. Kuvassa 9 on Ouman C203-lämmönsäädin, jonka menovesikäyrä on asetettu 5-pistesäätokäyrällä.



Kuva 9. Ouman C203-lämmönsäädin

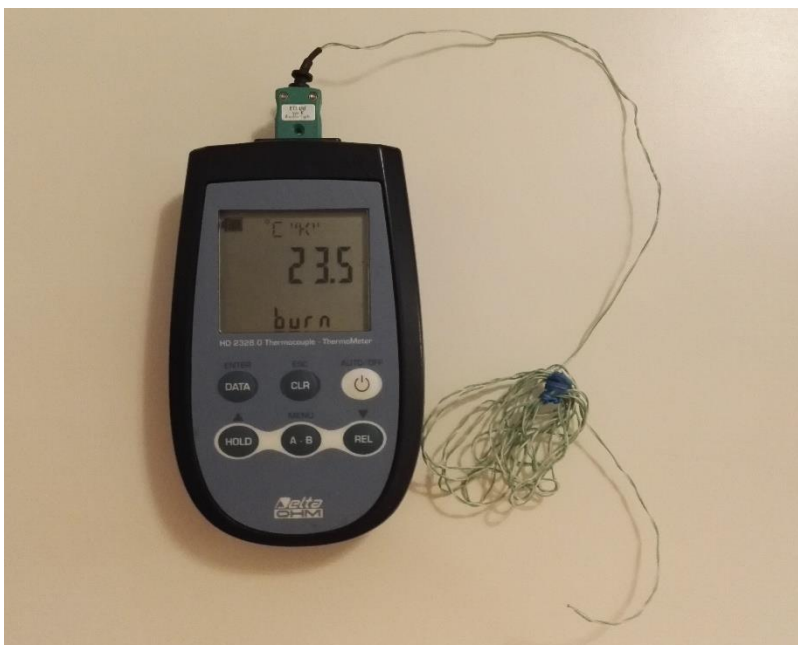
Nykyään on yleistynyt myös menovesikäyrän säätöjärjestelmä, jossa menoveden lämpötilaa säädellään asuntojen keskilämpötilan mukaan asuntokohtaisten lämpötila-anturien avulla. Hyvin toteutettuna tällaisen järjestelmän etuna on, että se osaa automatiikan avulla itse määrittää säätökäyrän asetukset oikealle tasolle. Lisäksi menoveden lämpötilansäädössä tulee myös huomioitua tilapäiset tuulen ja auringon tuomat vaikutukset lämmitystarpeeseen. Kääntöpuolena kyseiselle järjestelmälle ovat kuitenkin vielä suhteellisen suuret investointikustannukset.

## 7 Jälkiseurantamittaukset

### 7.1 Sisälämpötilamittausten suorittaminen

Sisälämpötilojen jälkiseurantamittauksia tarjotaan yleensä lisäpalveluna perussäätötyön yhteydessä. Mittausten myötä saadaan vielä tasattua mahdollisia lämpötilaeroja asuntojen välillä sekä säädettyä menovesikäyrrää siten, että se vastaa taloyhtiön toivomaa huoneistojen tavoitelämpötilaa. Tavoitelämpötila voi vaihdella hieman taloyhtiön toiveesta riippuen, mutta tyypillinen tavoitelämpötila on  $22 \pm 1$  °C. Jotta sisälämpötilamittauksista olisi hyötyä, tulee varmistaa, että olosuhteet mittaushetkellä ovat sopivat. Hyvä ulkolämpötila mittauksille on välillä  $-5 \dots -15$  °C. Sään olisi hyvä olla pilvinen, mutta ei kovin tuulinen. Tällaisia päiviä ei välttämättä tule talven aikana kovinkaan paljon, mikä asettaa mittauksille omat haasteensa.





Kuva 10. Lämpömittari K-tyypin lanka-anturilla.

Sisälämpötilamittausten avulla saadaan korjattua mahdolliset säätöurakan aikana tehdyt virheet. Virheitä on voinut tulla esimerkiksi tasapainotuslaskennassa, tai patteriventtiileitä on saattanut jäädä väärin säätöarvoihin. Vanhoissa rakennuksissa on kuitenkin myös paljon ominaisuuksia, joita on lähes mahdotonta ottaa huomioon lämpöhäviölaskentaa tehtäessä. Tällaisia tekijöitä ovat esimerkiksi:

- Rakenteelliset viat, esim. huonosti tiivistetyt elementtien saumat.
- Lämmöneristävyys heikentynyt iän myötä esim. kasaan painuneiden eristeiden johdosta.
- Lämpöeristeissä kosteutta, joka heikentää niiden lämmöneristävyyttä.
- Talon ilmanvaihtojärjestelmä epätasapainossa.

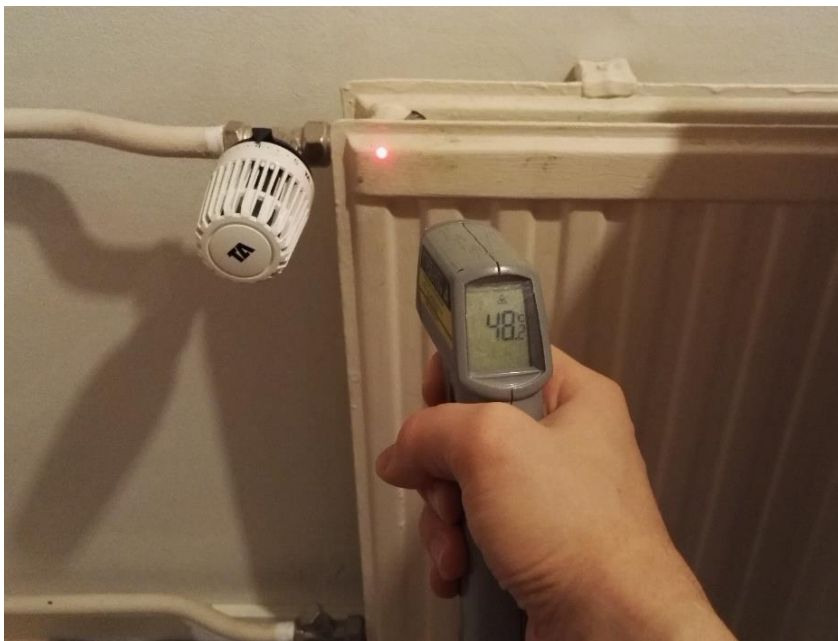
Mittauksista saatujen tulosten perusteella voidaan päätellä, onko tarpeen tehdä muutoksia pattereiden virtaamiin tai menovesikäyrään. Jos kaikkien huoneiden lämpötilat asetuvat  $\pm 1$  °C:n vaihteluvälille, ei huonekohtaisiin säädön muutoksiin yleensä ole tarvetta. Yksi syy tähän on, että ihmisten ja laitteiden synnyttämä lämpökuorman osuus lämmöntarpeeseen nähden, saattaa eri asunnoissa poiketa hyvinkin paljon toisistaan. Esimerkiksi pienessä yksiössä, jossa on paljon elektroniikkaa ja jossa kokataan paljon, voivat sisäiset lämpökuormat nostaa lämpötilaa merkittävästi. Samalla isossa ylimmän

kerroksen asunnossa, jossa sisäiset lämpökuormat ovat pienet, voi lämpötila helposti jäädä keskimääräistä viileämmäksi.

Huoneissa, joiden lämpötilat poikkeavat selkeästi keskimääräisestä, pyritään tilanne korjaamaan säätämällä patterin virtaamaa. Ennen kuin lähdetään tekemään muutoksia patteriventtiin esisäätöarvoon, kannattaa kuitenkin tarkistaa, voiko syynä lämpötilapoikkeamaan olla jokin muu tekijä kuin väärin säädetty virtaama patterissa. Tällaiseen voi olla esimerkiksi seuraavia syitä:

- Jos mittaukset on suoritettu termostaattien ollessa kiinnitettyinä, voi olla, että termostaatti rajoittaa virtaamaa.
- Patterissa on ilmaa.
- Patteri on peitetty esim. paksulla verholla, huonekalulla tai muulla rakenteella, joka heikentää sen lämmönluovutusta.
- Osa ilmanvaihdon korvausilmaventtiileistä on kesäasennossa ja osa talviasennossa.
- Poikkeuksellisen suuret lämpökuormat syntyvät esim. sähkölaitteista tai ihmisistä.

Patterilla jäljellä olevaa tehoreserviä voidaan arvioida vertailemalla patterin meno- ja paluuveden lämpötilaeroa. Mitä suurempi lämpötilaero, sitä enemmän lisätehoa patterilta voidaan saavuttaa lisäämällä virtaamaa. Mikäli paluuveden lämpötila on hyvin lähellä patterille tulevan veden lämpötilaa, ei virtaaman lisääminen juurikaan lisää patterilta saatavaa tehoa. Patterin meno- ja paluuveden lämpötilaeron mittaamisessa voidaan hyödyntää esim. kuvan 11 mukaista infrapunälämpömittaria.



Kuva 11. Infrapunalämpömittari.

Jos mittausten yhteydessä ilmenee, että huoneistojen lämpötila poikkeaa kauttaaltaan tavoitelämpötilasta, voidaan asiaa korjata säätämällä menovesikäyrää. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että 1 °C:n muutos menovesikäyrässä näkyy 0,5 °C:n muutoksena sisälämpötiloissa. Menovesikäyrän säädöllä on merkittävä rooli rakennuksen energiankulutuksen kannalta, sillä se vaikuttaa koko rakennuksen lämpötilatasoon.

## 7.2 Sisälämpötilamittaukset asukaskyselyn perusteella

Sisälämpötilan jälkiseurantamittauksissa voidaan hyödyntää erilaisia menetelmiä, joista yksi kevyt vaihtoehto on asukkaiden omatoiminen sisälämpötilan mittaus. Asukkaille jaetaan ennen mittauksia kaavake ohjeistuksineen, johon he voivat täyttää mittaamansa lämpötilat mittausajanjaksolta. Mittaukset suoritetaan perussäätöurakan yhteydessä jaetuilla huonelämpömittareilla, jotta saadaan mahdollisimman tarkat ja vertailukelpoiset tulokset. Mittausten aikana olisi toivottavaa, että asukkaat pitävät termostaatit ja käsipyörät käännettyinä auki, jolloin saadaan minimoitua niiden vaikutus verkoston toimintaan ja huonelämpötiloihin.

Kun mittaustulokset on saatu kerättyä, on seuraava vaihe käydä tekemässä korjaavat toimenpiteet niiden asuntojen osalta, joissa on ilmennyt poikkeamia. Mittaustulosten

perusteella saadaan myös käsitys kiinteistön yleisestä lämpötilatasasta, jonka perusteella voidaan tehdä hienosäätöjä menovesikäyrään.

Kun mittaukset on suoritettu termostaatit kiinnitettyinä, on etuna se, että voidaan helpommin huomata ne patterit, joiden kohdalla termostaatit eivät toimi optimaalisesti. Silloin tilanne saadaan korjattua muuttamalla termostaatin rajoitusta tai vaihtamalla se käsipyörään. Usein termostaatin rajoitus asetetaan arvoon 23 °C. Haittapuolena termostaatit kiinnitettyinä mitattaessa on, että lämpötilaerot eivät tule yhtä hyvin esille, sillä termostaatit leikkaavat pois suurimmat yllämpötilat. Tämä voi olla ongelmallista silloin, jos menovesikäyrä on asetettu yläkanttiin.

### 7.3 Sisälämpötilamittaukset termostaatit irrotettuina

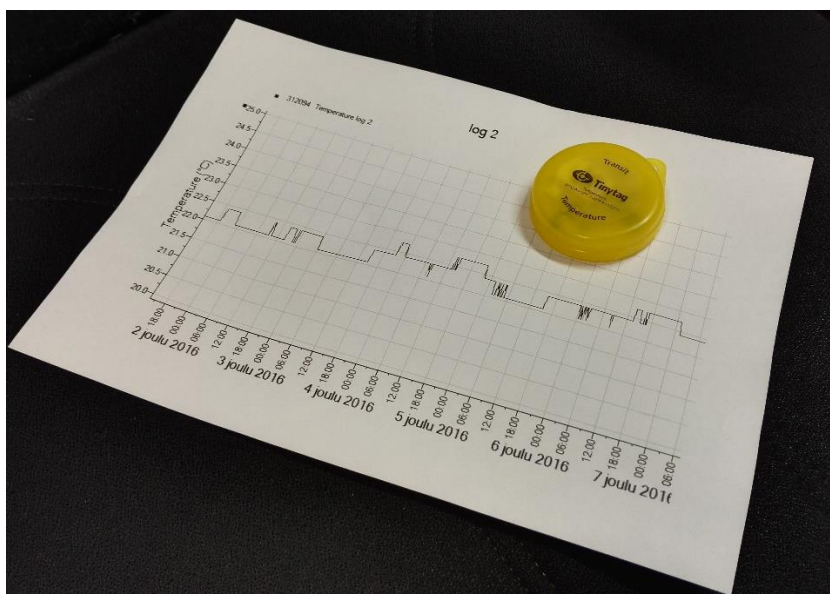
Sisälämpötilamittaukset termostaatit irrotettuina suoritetaan yleensä urakoitsijan toimesta. Ennen mittauksia käydään irrottamassa termostaattiosat patteriventtiileiltä ja ilmanvaihto kytketään normaalikäyttöaika-asentoon. Mikäli talossa on asuntokohtaiset ilmanvaihtokoneet sähkövastuksilla, on tuloilman lämmitys asetettava samalle tasolle. Yhden vuorokauden tasaantumisaajan jälkeen voidaan aloittaa mittaukset.

Kaikkien huoneiden lämpötilat mitataan kalibroidulla sisälämpömittarilla, ja mittaustulokset merkataan mittauspöytäkirjaan. Mittaustulosten yhteyteen merkitään, mikäli huoneessa havaitaan tekijöitä, jotka saattavat vaikuttaa huonelämpötilaan. Tällaisia ovat esimerkiksi ihmisten määrä, sähkölaitteet, aurinko ja auki olevat ikkunat. Tulosten perusteella suoritetaan korjaavat toimenpiteet ja tarkistetaan niiden vaikutus vuorokauden päästä toimenpiteiden suorittamisesta. Mikäli lämpötilat poikkeavat  $\pm 1^\circ\text{C}$ , voidaan vielä tehdä lisäkorjaustoimenpiteitä.

### 7.4 Tallentavat sisälämpötilamittaukset

Tallentavia sisälämpötilamittauksia käytetään lähinnä menovesikäyrän oikeiden asetusten löytämiseen. Mittaukset suoritetaan lämpötilaloggereilla, jotka voidaan asettaa tallentamaan lämpötilaa esimerkiksi 10 minuutin välein. Olisi hyvä, että huonekohtaiset mittaukset ja korjaukset lämpötilaeroihin on suoritettu ennen loggermittauksia. Loggerit vieään muutamaan asuntoon keräämään lämpötilatietoja useamman päivän ajalta.

Huoneessa, johon loggeri asetetaan, irrotetaan termostaattiosa patteriventtiilistä. Mittaustuloksista voidaan nähdä ulkolämpötilan muutosten vaikutus sisälämpötilaan ja näin ollen saadaan hyvät tiedot menovesikäyrän asettelua varten. Kuvassa 12 on esitetty lämpötilan mittaukseen tarkoitettu dataloggeri.



Kuva 12. Lämpötilan mittaukseen tarkoitettu dataloggeri.

## 8 Energiansäästöpotentiaali

Perussäädön tuoma energiansäästöpotentiaali riippuu lähtötilanteesta sekä siitä, millaisia lämpötilatasoja tavoitellaan perussäädön jälkeen. Energiansäästöpotentiaali on tyypillisesti suurin kohteissa, jossa sisälämpötilaerot ovat suuria ja menovesikäyrä on säädetty niin, että kylmimpien asuntojen lämpötilat pysyisivät siedettävällä tasolla. Kun sisälämpötilat saadaan asuntojen osalta perussäädön myötä tasaisiksi, voidaan menovesikäyrä säätää optimaaliseksi. Karkeasti voidaan sanoa, että keskilämpötilan pudottamisella yhdellä asteella saavutetaan noin viiden prosentin säästö lämmityskustannuksissa.

Välillä lähtötilanteena voi olla rakennus, jossa keskilämpötilat ovat hyvin alhaisella tasolla ja vain muutamissa asunnoissa saavutetaan viihtyisät lämpötilaolosuhteet. Kun tällaisissa kohteissa perussäädön myötä saadaan kaikkiin asuntoihin siedettävät lämpötilat, on luonnollista, että energiankulutus nousee jonkin verran.

## 8.1 Kulutuksen normitus kulutusseurannassa

Vertailtaessa rakennuksen energiankulutusta eri vuosien välillä on kulutukset normitettava, jotta niistä saadaan vertailukelpoisia. Normitus tehdään lämmitystarvelukujen avulla, jotka ovat saatavilla ilmatieteen laitoksen verkkosivuilta.

$$Q_{norm} = \frac{S_N \text{ vpkunta}}{S_{toteutunut vpkunta}} * Q_{toteutunut} + Q_{lämmön käyttövesi} \quad (14)$$

Normituksessa vähennetään kokonaiskulutuksesta käyttöveden lämmitykseen kulunut energia, sillä se on säästä riippumaton.

$$Q_{toteutunut} = Q_{kok} - Q_{lämmön käyttövesi} \quad (15)$$

$Q_{norm}$	on rakennuksen normitettu lämmitysenergiankulutus
$Q_{toteutunut}$	on rakennuksen tilojen lämmittämiseen kuluva energia
$Q_{kok}$	on rakennuksen kokonaislämmitysenergiankulutus
$Q_{lämmön käyttövesi}$	on käyttöveden lämmittämisen vaatima energia
$S_N \text{ vpkunta}$	on normaalivuoden lämmitystarveluku (1981-2010)
$S_{toteutunut vpkunta}$	on toteutunut lämmitystarveluku vuositason

Jos kulutetun lämpimän käyttöveden määrä on tiedossa, voidaan sen lämmittämiseen kulunut energia laskea yhtälöllä 16.

$$Q = \frac{\rho * C_p * V * (t_2 - t_1)}{3600} \quad (16)$$

$Q$	on patterin lämmönluovutusteho, kW
$\rho$	on veden tiheys, 1000 kg/m <sup>3</sup>
$C_p$	on veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/kg°C
$V$	on vedenkulutus, m <sup>3</sup>
$t_2$	on lämmitetyn veden lämpötila, tyypillisesti 55 °C
$t_1$	on lämmitettävän veden lämpötila, tyypillisesti 5...10 °C
3600	on yksikkömuunnoskerroin, kJ->kWh

Kun halutaan vertailla pelkkää tilojen lämmittämiseen kulunutta energiaa, vähennetään lopuksi käyttöveden lämmitysenergiankulutus normeeratusta kulutuksesta.

## 8.2 Perussäätökohteiden kulutusvertailu

Perussäätökohteiden kulutusvertailuun saatiin kerättyä 32 asuinkiinteistöä. Vertailuun päätyneet kohteet koostuvat Asuntosäätiön sekä Espoon asunnot Oy:n omistamista kiinteistöistä. Suurin osa kohteista on kerrostalokiinteistöjä, mutta muutama rivitalokiinteistökin saatiin mukaan vertailuun. Kohteet sijaitsevat Etelä-Suomessa, pääosin pääkaupunkiseudulla. Melkein kaikki kohteet on rakennettu 1990-luvun tietämillä lukuun ottamatta kahta 1960-luvulla valmistunutta rakennusta.

Kulutusvertailussa on vertailtu kiinteistöjen lämmityksen energiankulutusta ennen ja jälkeen perussäädön. Lähtötietoina on käytetty kaukolämmön kulutuslukemia. Lisäksi kaikista kiinteistöistä saatiin myös käyttöveden kulutustiedot. Kulutusvertailussa käytettiin kulutustietoja kahdeksan vuoden ajalta.

Kulutusvertailun laskenta on tehty normittamalla energiankulutus yhtälöiden 14 ja 15 mukaisesti. Lämpimän käyttöveden energiankulutus on laskettu yhtälön 16 mukaisesti, ja sen osuudeksi kokonaisvedenkulutuksesta on arvioitu 35 %. Lopuksi normeeratusta energiankulutuksesta on vähennetty lämpimän käyttöveden osuus, minkä myötä saadaan vertailukelpoinen luku kyseisen vuoden lämmityksen energiankulutukselle.

Kulutusvertailun tulokset ovat liitteessä 1. Liitteessä on taulukoituna kohteen nimi, rakennusvuosi, vuosi jolloin perussäätö on tehty, sekä tilojen lämmitysenergian muutos prosentteina perussäädön jälkeen. Liitteessä 2 on yhden kohteen esimerkkilaskelma. Tuloksista nähdään, että lämmitysenergiankulutus on vähentynyt suurimmassa osassa kohteista perussäädön jälkeen. Yhdeksän kohteen kulutus nousi perussäädön jälkeen. Keskimäärin kulutuksen muutos oli -3,52 %

## 8.3 Kulutusvertailun johtopäätökset

Kulutusvertailun tarkoituksena oli tarkastella perussäädön vaikutuksia energiankulutukseen sekä selvittää sisälämpötilamittausten tuomia hyötyjä energiankulutuksen suhteen.

Asuntosäätiön kohteisiin, joita oli yhteensä 24 kpl, ei ollut tehty sisälämpötilamittauksia, mutta kahteen kohteesta oli asennettu SiMAP-järjestelmä. Espoon Asuntojen kohteisiin, joita oli yhteensä 8 kpl, oli tehty sisälämpötilamittaukset ja korjaukset säätöarvoihin urakoitsijan toimesta.

Tarkasteltaessa Asuntosäätiön kohteita SiMAP-kohteet poisluettuna, oli keskimääräinen kulutuksen muutos  $-2,92\%$ . Näiden joukossa oli neljä kohdetta joissa kulutus oli noussut selkeästi perussäädön jälkeen. Eniten kulutus oli noussut kohteessa Mikkiläntörmä 2-4, jossa muutos oli  $+8,76\%$ . Mikkiläntörmän kohdalla nousun selittää ainakin osittain se, että perussäädön yhteydessä kohteessa lisättiin yhteensä neljä patteria kylmäksi osoittautuneisiin asuntoihin. Kaikkiaan kohteessa oli 112 kpl patteria. Muilta osin suuret nousut kulutuksessa viittaisivat siihen, että menovesikäyrä on todennäköisesti jäänyt perussäädön jälkeen turhan korkealle tasolle.

Espoon Asuntojen kohteissa keskimääräinen muutos oli  $-3,63\%$ . Näissä kohteissa oli tehty sisälämpötilamittaukset termostaatit irroitettuina urakoitsijan toimesta. Jokaisen kohteen osalta annettiin suositus menovesikäyrän tason laskemisesta. Menovesikäyriä ei välttämättä ole muutettu heti lämpötilamittausten jälkeen, mikä osaltaan saattaa selittää suuremmat kulutukset vuonna 2012, jolloin mittaukset on tehty. Poistamalla vuoden 2012 kulutus vertailusta saatiin keskimääräiseksi muutokseksi  $-4,46\%$ . Huomion arvoista on myös se, että yhdenkään kohteen kulutuksessa ei tapahtunut merkittävää nousua.

Asuntosäätiön kahdessa SiMAP-kohteessa kulutus laski keskimäärin  $-9,69\%$ . SiMAP-järjestelmän menovesikäyrän säätö perustuu ulkolämpötilan lisäksi asunnoista mitattuihin lämpötiloihin, toisin kuten perinteinen pelkkään ulkolämpötilaan perustuva säätö. Jotta SiMAP tyyppisestä järjestelmästä saadaan kaikki hyöty irti, on erityisen tärkeää, että verkosto on hyvin säädetty ja että lämpötilaerot asuntojen välillä jäävät pieniksi.

## 9 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli antaa kokonaiskuva patteriverkoston perussäädöstä suunnittelijan näkökulmasta. Aiheeseen tutustuttiin lähinnä eri kirjallisuuslähteiden avulla. Osa käsitellyistä asioista perustuu myös omassa työssä opittuihin asioihin ja hyväksi havaittuihin menetelmiin. Työ tehtiin yhteistyössä Helsingin Laskentasäätö Oy:n



kanssa, joka on erikoistunut vesikiertoisten lämmitysjärjestelmien saneeraussuunnitteluun.

Työssä esiteltiin tekijöitä, jotka tulisi huomioida tasapainotuslaskennassa, jotta päästäisiin mahdollisimman tarkkaan lopputulokseen säädön suhteen. Työssä käsiteltiin myös patteriverkoston tasapanotusmittauksissa käytettäviä menetelmiä sekä menovesikäyrän asettelua. Lisäksi työssä käsiteltiin perussäädön jälkeen toteutettavia sisälämpötilamittauksia sekä selvitettiin perussäädön vaikutuksia lämmityksen energiankulutukseen.

Perussäädön vaikutuksia energiankulutukseen selvitettiin vertailemalla 32 perussäätökohteen toteutuneita kulutuksia. Kohteet olivat pääosin 90-luvulla rakennettuja asuinkerrostaloja. Vertailuun saatiin mukaan 22 kohdetta, joissa oli suoritettu perussäätö ilman sisälämpötilamittauksia sekä 8 sisälämpötilamittauskohdetta. Lisäksi mukana oli 2 kpl SiMAP-järjestelmällä varustettua kohdetta. Kaikkien kohteiden keskimääräinen energiankulutuksen muutos perussäädön jälkeen oli  $-3,52\%$ . Tarkastelussa voitiin kuitenkin todeta, että kulutus oli laskenut keskimäärin enemmän kohteissa, joissa oli suoritettu sisälämpötilamittaukset, sekä SiMAP-järjestelmällä varustetuissa kohteissa.

## Lähteet

- 1 Kärkkäinen, Aatos. 2010. Gasfri påfyllning av värme- och kylsystem samt injusterering av radiatorsystem. Väitöskirja. Aalto-yliopisto.
- 2 Kärkkäinen, Aatos. Hörkkö Jukka. 1988. Laskennallisen perussäädön perusteet. Tekno-Innovaatio Oy
- 3 Kärkkäinen, Lasse 2015. Vesikiertokeskuslämmitysjärjestelmien putkistolas-kenta ja perussäätö
- 4 Seppänen, Olli. 2001. Helsinki: Rakennusten lämmitys.
- 5 Kemppainen, Vesa. 2014. Patteriverkoston perussäätö: Matalavirtamenetelmä ja lämpöjohtopumppujen säätömuotojen tarkastelu. Insinööritoimisto. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 6 LVI-ohjekortti, LVI 41-10230 ohjekortti, Lämmitysverkoston säätö
- 7 Hagner, Börje. 2015. Kun isoisä fläktiltä pajatuhottimen osti. LVI-alan historia-kooste. <<https://www.ril.fi/media/files/seniorit/lvi-historiikki.pdf>> Luettu 1.2.2018
- 8 Matalaenergiapienalan öljylämmityksen kehittäminen.1996. VTT. <<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1996/T1802.pdf>> Luettu 9.10.2017
- 9 Patteriverkoston perussäätö. 2016. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <<http://www.motiva.fi/perussaato>> Luettu 16.3.2017
- 10 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2012.
- 11 Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Ympäristöministeriö.
- 12 Energiatodistusopas. Verkkoaineisto. <[www.ymparisto.fi/download/no-name/%7BAC7A25CB-AE7E-4869-8884.../100058](http://www.ymparisto.fi/download/no-name/%7BAC7A25CB-AE7E-4869-8884.../100058)> Luettu 10.11.2017
- 13 RA-N esisäädettävät venttiilit. Verkkoaineisto. Danfoss. <[http://heating.danfoss.com/PCMPDF/VD53G720\\_keymark.pdf](http://heating.danfoss.com/PCMPDF/VD53G720_keymark.pdf)> Luettu 18.11.2017
- 14 Lämpötilan mittaus. Julkaisu J1/2002. Mittatekniikan keskus.
- 15 Kulutuksen normitus. 2017. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <<http://www.motiva.fi/kulutuksennormitus>> Luettu 21.2.2018

- 16 Lämmitystarveluku eli astepäiväluku. Verkkoaineisto. Ilmatieteen laitos.  
<<http://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>> Luettu 17.2.2018

## Perussäätökohteiden kulutusvertailu

Kohdenimi	Rakennusvuosi	Jälkiseuranta	Perussäätö	Muutos-%
Asokodit linnanrakentajantie 11, Helsinki	1995		2009	-9,84 %
Asokodit Sissosentie 15, Helsinki	1994		2009	-7,10 %
Asokodit Eloniemenkatu 2-4, Lohja	1994		2010	5,64 %
Asokodit Iso-Hollonkuja 8, Kerava	1997		2010	-5,76 %
Asokodit Lautamiehentie 2, Vantaa	1999	SiMAP	2011	-8,55 %
Asokodit Lekkerikuja 1, Espoo	1997		2011	-4,60 %
Asokodit Sokinsuontie 9, Espoo	1993		2011	-4,94 %
Asokodit Taavinharju 16, Espoo	1992		2011	-7,20 %
Asokodit Tuulenpesäntie 3, Helsinki	1992		2011	-0,44 %
Espoon Kruunu Oy Hyljelahdentie 7, Espoo	1995	urakoitsija	2011	0,21 %
Espoon Kruunu Oy Hyljelahdentie 14, Espoo	1990	urakoitsija	2011	0,65 %
Espoon Kruunu Oy livisniemenaukio 1, Espoo	1967	urakoitsija	2011	-12,16 %
Espoon Kruunu Oy livisniemenkatu 1, Espoo	1968	urakoitsija	2011	-1,57 %
Espoon Kruunu Oy Kuuttikuja 1, Espoo	1996	urakoitsija	2011	-1,95 %
Espoon Kruunu Oy Matinkatu 7, Espoo	1992	urakoitsija	2011	-15,49 %
Espoon Kruunu Oy Rullaniementie 4, Espoo	1990	urakoitsija	2011	1,89 %
Espoon Kruunu Oy Soukankaari 4, Espoo	1989	urakoitsija	2011	-0,59 %
Asokodit / Aliverstaankuja 3, Kellokoski	1994		2012	-6,94 %
Asokodit / Karhusuontie 74, Helsinki	1992		2012	-1,28 %
Asokodit / Katajamäentie 1-2, Porvoo	1992		2012	-3,76 %
Asokodit / Kaukotie 27, Järvenpää	1998		2012	-2,35 %
Asokodit / Korkintie, Tuusula	1996		2012	1,03 %
Asokodit / Kulleronkuja 1, Tuusula	1995		2012	-17,98 %
Asokodit / Lohkarekuja 1, Helsinki	1994	SiMAP	2012	-10,84 %
Asokodit / Malmin Kauppatie 4A, Helsinki	2001		2012	8,08 %
Asokodit / Mikkiläntörmä 2-4, Espoo	1998		2012	8,76 %
Asokodit / Rintamasotilaantie 2, Helsinki	1997		2012	-5,88 %
Asokodit / Sorvankaari 4, Nurmijärvi	2001		2012	2,60 %
Asokodit / Suistokatu 17, Porvoo	1999		2012	-11,00 %
Asokodit / Teirinpiha 3, Espoo	1998		2012	-3,13 %
Asokodit / Tilkankatu 27, Helsinki	1996		2012	-6,20 %
Asokodit / Trappukorventie 2, Kerava	1992		2012	7,96 %

<b>keskiarvo</b>	<b>-3,52 %</b>
------------------	----------------

ei jälkiseurantamittauksia	-2,92 %
urakoitsijan sisälämpötilamittaukset	-3,63 %
SIMAP	-9,69 %

**Esimerkkilaskelma: Soukankaari 4**

Espoon Kruunu Oy Soukankaari 4, Espoo		en- nen				jälkeen			
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Kulutus	MWh	319	344	355	311	314	300	321	311
Normeerattu	MWh	352	343	317	322	308	308	336	345
Lämpöindeksi	kWh/Rm <sup>3</sup>	33,2	32,3	29,9	30,4	29,1	29	31,7	32,6
		1060	1060	1060		1060	1060	1060	1060
Tilavuus	m <sup>3</sup>	0	0	0	10600	0	0	0	0
Veden Kulutus	m <sup>3</sup>	2508	2550	2524	2380	2068	2169	2164	2067
lämpimän veden osuus		35 %	35 %	35 %	35 %	35 %	35 %	35 %	35 %
lämpimän veden energia	MWh	50,96	51,81	51,29	48,36	42,02	44,07	43,97	42
lämmityksen energia	MWh	268	292,2	303,7	262,6	272	255,9	277	269
normeerattu	MWh	301	291,2	265,7	273,6	266	263,9	292	303
lämmityksen energia	ka				281,6	268,5		erotus	-4,67 %
<b>normeerattu</b>	<b>ka</b>				<b>282,9</b>	<b>281,2</b>		<b>erotus</b>	<b>-0,59 %</b>